

ch

Bibliotheek  
Proefstation  
Naaldwijk

A  
09  
E  
40

BIBLIOTHEEK

PROEFSTATION voor de GROENTEN- en  
FRUITTEELT onder GLAS te NAALDWIJK

Onderzoek naar warmteopslag in de kasbodem

Door:

J.N.M. van Etten

A  
09  
E  
40

R.K. H.T.S. - „RIJSWIJK”

LANGE KLEIWEG 4

RIJSWIJK (Z.-H.)

TEL. 070 - 90 78 39

09054 + 09312

stamboek no. 1361

Afdeling: Werktuigbouwkunde

Praktijkjaar 19 78 - 19 79

## PRAKTIJKVERSLAG nr. 10

over de periode: mei

### TITEL

Onderzoek naar warmteopslag in de kasbodem.

Naam Student: J.N.M. van Etten

Adres: Reesloot 22, Pijnacker tel.: (01736) 4898

Datum: 5 - 6 - 1979 Handtekening: *S. van Etten*

Naam bedrijf: Proefstation Naaldwijk, afd. Technische Dienst

Adres: Zuidweg 38, Naaldwijk tel.: (01740) 26541

Naam afdelingschef:

*Ing. A.B. Albers*

Opmerkingen:

*geen*

Gezien en akkoord:

*[Signature]*

Datum: 6.6.79

Dit verslag bestaat uit:

19 genummerde bladzijden

8 schetsbladen

Door school in te vullen

Ingekomen: .....

Docent: .....

Beoordeling: .....

Datum: .....

Opmerkingen: .....

.....  
.....  
.....  
.....

## Inhoudsopgave

1. Inleiding	pg. 2
2. Benutten van de kaswarmte	pg. 3
3. Warmteopslag in de bodem	
3.1. Opslagmedium	pg. 4
3.2. Kasbodem als opslag reservoir	pg. 4-5
3.3. Benodigde bodemlagen	pg. 6-7
3.4. Warmteverliezen in de bodem	pg. 8-9
3.5. Opslagmethoden	pg. 10
3.5.1. Impulsinjectie	pg. 10
3.5.2. Meerpuntsinjectie	pg. 10-11
3.5.3. Warmte uitwisseling	pg. 11
3.6. Consequenties van warm grondwater	pg. 12
4. Onderzoekingen	pg. 13
4.1. Grondtemperatuur aan de oppervlakte	pg. 13-14
4.2. Warmteoverdracht door de bodem	pg. 14-16
4.3. Injecteren van warm water	pg. 17
5. Nabeschouwing	pg. 18
6. Literatuurlijst	pg. 19

### Bijlagen:

1. Figuur 3.3.1. Injecteren van warm water in de bodem door impulsinjectie.  
Figuur 3.3.3. Warmteopslag in de bodem d.m.v. warmte uitwisseling.
2. Figuur 3.3.2. Injecteren van warm water in de bodem door meerpuntsinjectie.
3. Grafiek 4.1. Verloop in grondtemperatuur in en buiten de kas.
4. Grafiek 4.2. Verloop in grondtemperatuur in een kas met en zonder grondverwarming.
5. Figuur 4.3. Schets proefopstelling bij het injecteren van warm water.
6. Figuur 4.3.a Schets injectiebuis met bijbehorend bodemprofiel.
7. Tabel 4.3. Meetgegevens injectieproef.
8. Figuur 4. Plattegrond van kascomplex B11.

## 1. Inleiding

Na de grote energiecrises in 1973 is de wereld zich bewust geworden van de schaarste aan fossiele brandstoffen enerzijds en de afhankelijkheid van energie exporterende landen anderzijds. Dit heeft in de Verenigde Staten en Europa geleid tot het opzetten van grootscheepse energie-onderzoek-programma's, zoals het zoeken naar alternatieve energiebronnen en naar mogelijkheden om het energieverbruik te verminderen.

Mede door het stijgende prijspeil van de energie is het gebruik van alternatieve energiebronnen ook in de tuinbouw aantrekkelijk geworden.

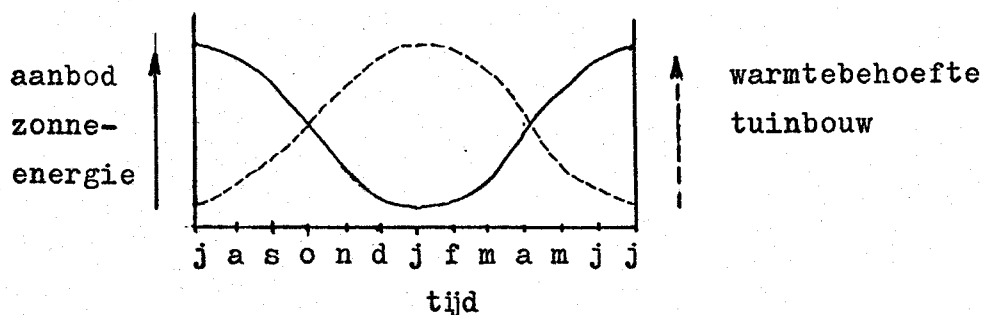
Het grote probleem bij het benutten van alternatieve energiebronnen is de opslag van de energie. Opslag van energie is namelijk noodzakelijk omdat het aanbod van energie gedurende bepaalde periodes de energiebehoefte overtreft.

Teneinde de mogelijkheden van energieopslag nader te onderzoeken ben ik op het Proefstation Naaldwijk met een onderzoek gestart naar de mogelijkheden van warmteopslag in de bodem onder kassen. In dit onderhavige rapport worden de richtlijnen en de voorlopige resultaten van het onderzoek beschreven.

## 2. Benutten van de kaswarmte

Kassen zijn ontworpen om zoveel mogelijk zonne-energie op te vangen. Men kan ze dus wel de eerste commerciële zonne-collectoren noemen, al zijn het dan niet de meest efficiënte.

Het nuttig gebruik van deze zonne-warmte hangt af van de aard van de warmtebehoefte. De warmtebehoefte, in de tuinbouw, is meestal aanwezig op momenten dat er geen aanbod van zonnewarmte is. Omgekeerd is het mogelijk dat een groot aanbod van zonnewarmte de warmtebehoefte overtreft.



Figuur 2. Warmte aanbod en warmtebehoefte zijn uit fase met elkaar.

A: Energie-overschot; B: Enerietekort. (1)

Overdag is er vaak een overschot aan warmte in de kassen, terwijl s' nachts meestal behoefte is aan warmte. Hetzelfde geldt voor de verschillende seizoenen, zie fig. 2. In de zomer is er meestal een groot overschot aan warmte, terwijl in de winter een grote behoefte is aan warmte.

Een voor de handliggende oplossing is dus om de overtollige warmte uit de kas en/of het verwarmingssysteem op te slaan, voor korte duur (dag/nacht) of voor lange duur (zomer/winter), in plaats van "weg te ventileren". De overtollige kaswarmte kan op verscheidene manieren verzameld worden, bijvoorbeeld door dekkkoeling, luchtkoeling etc. Ook overtollige warmte verkregen door het verwarmingssysteem, hierbij denken we vooral bij het gebruik van een rookgascondensor, moet voor korte of lange duur kunnen worden opgeslagen.

Naderhand kan de opgeslagen warmte bij behoefte weer gebruikt worden voor grondverwarming of ruimteverwarming.

Het opslaan van de kaswarmte geeft echter technisch en economisch problemen. Omdat het gaat om laagwaardige energie, met een temperatuurniveau tussen 30-50 °C, hebben we voor een geringe hoeveelheid energie (warmte) een relatief grote opslagruimte nodig.

### 3. Warmteopslag in de bodem

#### 3.1. Opslag medium

Het is duidelijk, dat de overvloedige warmte moet worden opgeslagen en op moment van warmte vraag, na korte tijd (enkele uren) of na lange tijd (half jaar), kan worden afgestaan.

Warmteopslag kan geschieden door van een hoeveelheid vloeistof (b.v. water) of vaste stof (b.v. steen) de temperatuur te verhogen of door een faseverandering van het opslagmateriaal tot stand te brengen (b.v. smelten/stollen van zouten).

Bij warmteopslag spelen verschillende aspecten een belangrijke rol, met name:

- opslagtijd
- opslagomvang
- opslagtemperatuur
- beschikbaarheid van het opslagmateriaal

In vele gevallen is het meest gunstig om water als opslag medium te gebruiken. Water als opslag medium heeft n.l. de volgende voordelen:

- het is voldoende beschikbaar en daardoor goedkoop,
- het is eenvoudig te transporteren,
- in vele systemen wordt water al voor warmte transport gebruikt, denk aan: dekkoeling, rookgascondensor etc. Hierdoor kan vaak direct vanuit een systeem warmte worden opgeslagen. Er is dan geen extra warmte wisseling nodig, hetgeen de warmteverliezen en de kosten beperkt.

Het water zou in grote geïsoleerde reservoirs kunnen worden opgeslagen. Water heeft echter het nadeel dat de soortelijke warmte gering is, namelijk 4,23 KJ/kgK. Men zou dus om volledige opslag te krijgen een groot volume nodig hebben.

#### 3.2. Kasbodem als opslag reservoir

Op het eerste gezicht lijkt het opslaan van grote hoeveelheden warm water een onmogelijke opgave. De bouw van gigantische geïsoleerde opslagketels is economisch onaanvaardbaar.

Er bestaan echter nog andere mogelijkheden. We kunnen namelijk beschikken over al het water dat zich bevindt tussen de korrels van de zandpakketen in de ondergrond. Dit opslagmateriaal is in grote hoeveelheden beschikbaar.

Bij het aanleggen van dergelijke warmte putten wordt er in het geheel geen beslag gelegd op het terreinoppervlak. Elk terrein komt dus in aanmerking. Meest voor de hand liggend is het opslagterrein daar te kiezen waar toch al warmwaterleidingen aanwezig zijn. Dus onder de kascomplexen van het tuinbouwbedrijf. Opslag in de kasbodem heeft het bijkomend voordeel dat eventuele warmteverliezen naar boven weer ten gunste komen aan de kasverwarming. Tevens is het temperatuur niveau van de kasbodem beduidend hoger dan van braak liggende terreinen, zie hoofdstuk 4.1. onderzoek grondtemperatuur.

De meest voor de hand liggende plaatsen voor deze warmwaterputten bevinden zich rondom de warmtewisselaars (ketelhuizen). Daarvoor behoeft de uitrusting alleen maar met een aantal pompen uitgebreid te worden.

De voor deze opslagmethode benodigde zandpak<sup>k</sup>etten kunnen kunstmatig worden aangelegt tussen twee isolatielagen. Maar we kunnen ook gebruik maken van natuurlijk gevormde zandpaketten in de ondergrond tussen minder doorlatende lagen (kleilagen). Het aanleggen van kunstmatige warmwaterputten is voor tuinbouwbedrijven in vele gevallen economisch niet haalbaar. Tevens zullen de noodzakelijke graafwerkzaamheden de voor de tuin benodigde bodemstructuur aantasten. Men zal dus bodemonderzoek moeten verrichten naar geschikte natuurlijk gevormde bodemlagen. De diepte en grootte van de warmwaterputten zal dus volkomen afhankelijk zijn van de aanwezige bodemstructuur.

De mogelijkheid om de kasbodem als opslag reservoir te gebruiken is van velerlei factoren afhankelijk, zoals:

- aanwezigheid van de benodigde bodemlagen
- warmteverliezen; rendement van de warmte opslag
- opslagmethode
- consequenties van warm grondwater
- opslagkoste

Al deze factoren dienen nader onderzocht te worden voordat men wat kan zeggen over de praktische toepassing van de kasbodem als opslag voor warm water.

### 3.3. Benodigde bodemlagen

Voor warmteopslag in de bodem heeft men een combinatie van ten minste twee geschikte bodemlagen nodig. Een laag waarin het warme water makkelijk kan worden opgeslagen met direct daarboven een isolatielaag. Inde meeste gevallen is het ook gunstig om onder de opslaglaag een isolatielaag te hebben, dit in verband met warmteverliezen door natuurlijke convectorie, zie hoofdstuk 3.4. warmteverliezen in bodem.

Een goede isolatielaag moet slecht waterdoorlatend zijn en een geringe warmtegeleidingscoëfficiënt hebben.

Een goede opslaglaag moet daarentegen goed waterdoorlatend zijn, een groot warmtegeleidingscoëfficiënt en een hoge warmtecapaciteit hebben.

In tabel 3, op blz. 7, zijn de thermische eigenschappen van een beperkt aantal grondsoorten gegeven.

Er komen in ons land veel verschillende grondsoorten voor, vooral in de oppervlakte gronden. Het onderzoek naar de meest geschikte bodemstructuur (grondprofiel) is daardoor zeer uitgebreid. Voorlopig zullen we ons beperken tot het geven van enkele algemene richtlijnen: In Nederland zal de opslag gesitueerd zijn in klei en verzadigde zandgronden; daar de opslag vrij grote dimensies zal aannemen kan zelfs gesteld worden dat voornamelijk gebruik gemaakt zal worden van verzadigd zand, daar het opwarmen van veen en sterk organisch houdende kleisoorten tot ca. 50°C niet aan te bevelen is. Door natuurlijke convectorie en ter plaatse heersende grondwaterstroming in het vrije poriënwater kunnen extra warmteverliezen optreden.

Zand is door zijn grove open structuur goed waterdoorlatend en heeft een grotere warmtegeleidingscoëfficiënt dan klei.

Kleilagen komen het meest in aanmerking voor natuurlijk gevormde isolatielagen. Klei heeft een fijne dichte structuur en is daardoor, ondanks een groot poriënvolume, slecht waterdoorlatend. Tevens heeft verzadigde klei een gering warmtegeleidingscoëfficiënt.



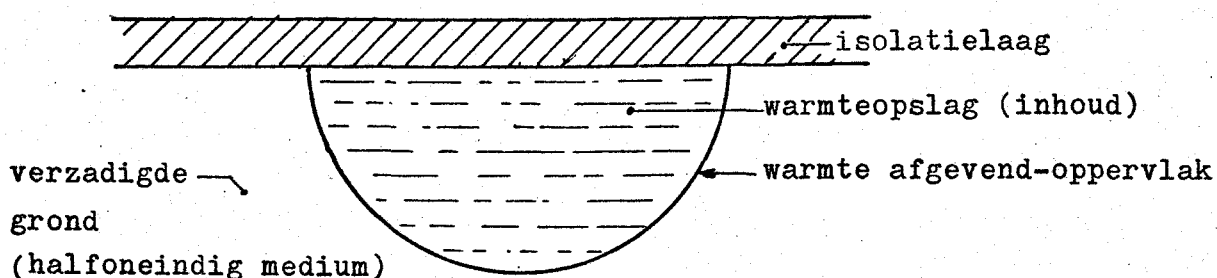
grond- soort	poriën- volume n %	dicht- heid $\rho$ kg/m <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup>	warmtegelei- dingscoëfficiënt $\lambda$ W/mK	warmte- capaciteit Cp J/kgK 10 <sup>3</sup>
verzadigd zand	34	2,1	2,4	1,3
onverzadigd zand	45	1,9	1,6	1,6
droog <sup>x)</sup> zand	40	1,6	0,3	0,7
verzadigd klei	58	1,7	0,9	1,9
verzadigd veen	81	1,1	0,5	3,5
onverzadigd veen (ca. 45% lucht)	85	0,63	0,3	3,2

Tabel 3. De thermische eigenschappen voor diverse grondsoorten (deze waarden komen uit de literatuur en moeten niet te absoluut genomen worden). <sup>x)</sup> De eigenschappen van droog zand zijn zeer sterk afhankelijk van de gradering en dichtheid. (1)

### 3.4. Warmteverliezen in de bodem

De warmteverliezen en het rendement van de warmteopslag in de bodem worden bepaald door:

- Opslagtijd; Vanzelfsprekend zijn de warmteverliezen evenredig met de opslagtermijn.
- Opslagtemperatuur; Het verschil tussen de opslagtemperatuur en de omgevende grondtemperatuur bepaald o.a. de warmteverliezen door warmteoverdracht naar buitenlagen.
- Isolerend gedrag van de bodem; Deze is afhankelijk van de thermische eigenschappen van de grond.
- Geometrie en de grootte van de opslag; Naarmate de omvang van de opslag groter wordt, wordt de verhouding tussen warmte inhoud en warmte afgevend-oppervlak gunstiger. Bij toename van de omvang zullen de warmteverliezen relatief gezien kleiner worden. Ook de verhouding tussen warmte-afgevend oppervlak en benodigd isolatie-oppervlak heeft invloed op de warmteverliezen. De ideale geometrie is de halve bolvorm (1), zie fig. 3.4.1.



Figuur 3.4.1. Schets warmteopslag in halve bolvorm.

Het warmteverlies vindt voornamelijk plaats door warmteoverdracht en door spreiding van het opgewarmde grondwater t.g.v. natuurlijke grondwaterbeweging.

#### - Natuurlijke grondwaterbeweging:

Grondwaterbeweging op grotere diepte (meer dan 2 meter) is het gevolg van aanwezige hoogteverschillen tussen goed waterdoorlatende, slecht waterdoorlatende en niet-waterdoorlatende bodemlagen.

In ons land is in de meeste gebieden de natuurlijke horizontale verplaatsing van het grondwater niet groot (minder dan 5 meter per jaar), althans niet t.o.v. de afmetingen van de warmteopslag die we nodig hebben.

Ons land mist immers de hoogte verschillen die een belangrijke ondergrondse waterverplaatsing in stand zou houden.

#### - Warmteoverdracht:

De natuurlijke warmteoverdracht van de bodem is heel klein. Reeds op betrekkelijk kleine diepte blijkt de temperatuur het hele jaar door constant te blijven. De temperatuurwisseling van de seizoenen dringt daar al niet meer door.

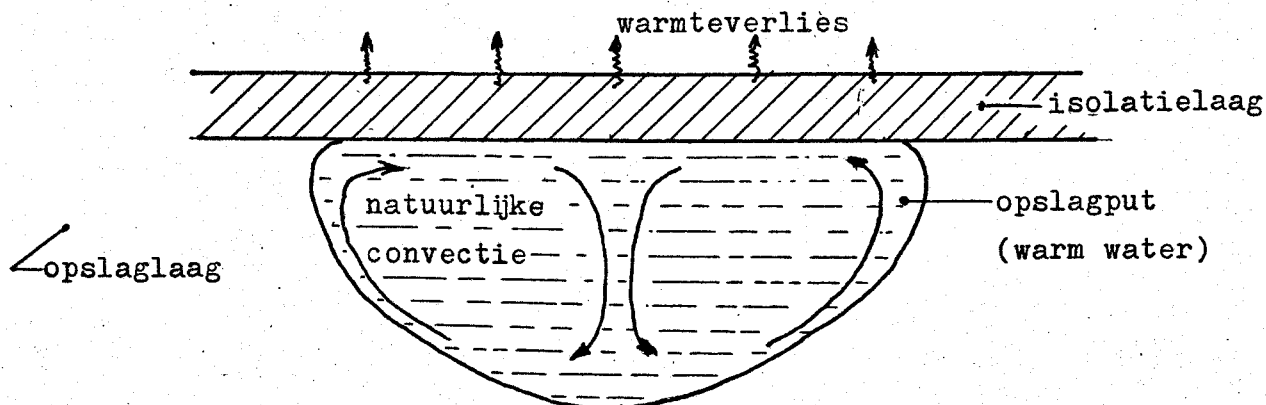
De warmteverliezen t.g.v. warmteoverdracht, bij het opslaan van warm grondwater, kunnen we onderscheiden in:

- warmteverliezen door geleiding,
- warmteverliezen door natuurlijke convectorie.

Het warmteverlies door geleiding wordt voornamelijk bepaald door het warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte van de toegepaste isolatielaag. Tabel 3, op blz. 7, zijn de thermische eigenschappen van diverse grondsoorten gegeven, waaronder het warmtegeleidingscoëfficiënt.

Het warmteverlies door natuurlijke convectorie is afhankelijk van de diepte van de opslagput. Natuurlijke convectorie ontstaat door de inwendige stroming van het warme water langs het oppervlak van de opslagput, zoals te zien is in fig. 3.4.2. Deze stroming is het gevolg van het verschil in soortelijke gewicht tussen warm en koud water. Het warmste water stijgt tot onder de isolatielaag, koelt daar af en zakt weer naar beneden.

Natuurlijke convectorie treedt vooral op bij diepe opslagputten. Bij warmteopslag in dunne lagen heeft men minder of geheel geen last van natuurlijke convectorie.



Figuur 3.4.2. Natuurlijke convectorie in warm water opslagputten.

### 3.5. Opslagmethoden

Het opslaan van warm water in de bodemlagen kan op verscheidene manieren plaats vinden. De methoden zijn te onderscheiden in een drietal groepen:

- |  |   |                  |
|--|---|------------------|
| 3.5.1. Impulsinjectie (eenpuntsinjectie) | } | open systeem     |
| 3.5.2. Meerpuntsinjectie                 |   |                  |
| 3.5.3. Warmte uitwisseling               | — | gesloten systeem |

#### 3.5.1. Impulsinjectie

Bij impulsinjectie vindt zowel het injecteren als het oppompen van het warme water plaats vanuit een zelfde punt. Het warme water wordt geïnjecteerd in een waterdoorlatende zandlaag, juist onder een afsluitende laag (kleilaag). Vanuit het injectiepunt gaat de warmwaterput zich uitbreiden. Het aanwezige grondwater wordt hierbij weggedrukt door het geïnjecteerde warme water. Bij warmtebehoefte wordt het warme water weer vanuit hetzelfde punt omhoog gepompt en gebruikt voor verwarming. Het principe van deze methode is getekend in figuur 3.5.1., op bijlage 1.

Impulsinjectie is eenvoudig en goedkoop te realiseren. De methode heeft echter enkele nadelen: Warm water is iets lichter dan koud water. Het heeft dus de neiging zich vlak onder de afsluitende laag te verspreiden. De spreiding van het warme water is hierdoor moeilijk te regelen en controleerbaar, waardoor extra warmteverliezen zullen optreden.

De temperatuur in de warmwaterput zelf, is niet homogeen. Er zal een groot temperatuurverschil heersen tussen de bovenste lagen van de put, vooral bij het injectiepunt, en de onderste lagen van de put. Bij later gebruik van het warme water kan dit problemen geven.

#### 3.5.2. Meerpuntsinjectie

Meerpuntsinjectie is een open systeem, waarbij het grondwater zelf wordt opgewarmd. Bij deze methode maakt men gebruik van een stelsel van regelmatig verdeelde bronnen, zoals figuur 3.5.2.a op bijlage 2 laat zien.

De helft zijn bronnen waar het koude grondwater wordt opgepompt. Dat water kan dan verwarmd worden en vervolgens via de andere bronnen weer in de grond worden geïnjecteerd.

Het warme water is iets lichter dan het koude water. Het heeft dus de neiging vlak onder de afsluitende laag (kleilaag) te blijven hangen. Afzuigen van koud water kan daarom het best op grotere diepte plaats vinden. Zouden de koude bronnen warm water gaan leveren dan moet men aannemen dat het warmtereservoir "vol" is. Als men de warmte weer nodig heeft verloopt het proces in omgekeerde richting. Het principe van deze methode is getekend in figuur 3.5.2.b, op bijlage 2.

Meerpuntsinjectie is ook vrij eenvoudig en goedkoop te realiseren!

De warmteverdeling in de warmwaterputten is homogener dan bij impuls-injectie. Ook heeft men meer vat op de spreiding van het warme water en de grootte van de put.

### 3.5.3. Warmte uitwisseling

Beide vorige methoden zijn open systemen waarbij het grondwater direct wordt opgewarmd en in beweging treedt. Het is echter ook mogelijk om het "stilstaand" grondwater indirect op te warmen d.m.v. een gesloten systeem. Hierbij maken we gebruik van een ondergrondse warmtewisselaar. Deze warmtewisselaar is in feite een aangelegde slangenspiraal in de bodem. Door de spiraal wordt het overvloedige warme water gepompt. Het warme water dat door de spiraal loopt zal hierdoor afkoelen en de bodem (grondwater) wordt opgewarmd. Door deze uitwisseling wordt er warmte opgeslagen in de bodem. Bij warmtebehoefte verloopt het proces omgekeert. De bodem wordt dan weer afgekoeld door koud water door de ondergrondse spiraal te leiden. Figuur 3.5.3., op bijlage 1, laat het principe van deze methode zien.

Bij warmte uitwisseling in de bodem is de warmtestroom en warmteverdeling beter te regelen dan bij de twee eerder genoemde methoden. Ook de warmteverliezen zijn geringer omdat het grondwater minder in beweging is.

Vanwege de vele graafwerkzaamheden bij de aanleg is deze methode erg kostbaar. Bovendien treedt door de graafwerkzaamheden structuur bederf op.

### 3.6. Consequenties van warm grondwater

Men moet aannemen dat de aanwezigheid van warm grondwater invloed kan hebben op het milieu. Warm grondwater heeft waarschijnlijk weinig consequenties voor de bebouwing of beplanting van het terrein er boven. We rekenen immers op kleine warmteverliezen.

Of het opwarmen van het diepe of minder diepe grondwater biologische consequenties heeft is moeilijk te overzien.

Chemische bijwerkingen zijn niet uitgesloten. Bepaalde mineralen zouden door de hogere temperatuur van het grondwater in oplossing kunnen gaan. Of dergelijke mineralen vóórkomen, en of dat mogelijke consequenties heeft, is van te voren te bepalen.

#### 4. Onderzoekingen

Op het proefstation Naaldwijk zijn enkele onderzoekingen gedaan i.v.m. de mogelijkheden van warm wateropslag in de kasbodem, o.a. onderzoek naar:

- 4.1. Grondtemperatuur aan de oppervlakte
- 4.2. Warmteoverdracht door de bodem
- 4.3. Injecteren van warm water

##### 4.1. Grondtemperatuur aan de oppervlakte

Begonnen is met onderzoeken van het verloop van de grondtemperatuur, in de oppervlakte lagen tot ca. 3 meter diepte, in en buiten de kassen. De metingen zijn verricht met lange stalen pennen, die in de grond zijn gestoken, zie fig. 4.2. op blz. 15. Langs de pennen zijn een vijftal thermokoppels bevestigd op een onderlinge afstand van  $\pm 50$  cm. Bij de metingen binnen de kassen zijn de thermokoppels aangesloten op een nulpunt referentiekast van de procescomputer. De grondtemperaturen zijn door de procescomputer geregistreerd. Buiten de kassen zijn de thermokoppels aangesloten op een recorder (Honeywell schrijver), die de grondtemperaturen registreert.

De metingen van de grondtemperatuur zijn op verschillende plaatsen verricht, namelijk:

- buiten de kas op braak liggend terrein,
- in kasafdeling 4 van kascomplex B11; zonder grondverwarming,
- in kasafdeling 6 van kascomplex B11; waarvan de grondverwarming in werking is gezet.

De meetplaatsen zijn aangegeven in fig. 4, op bijlage 8, een plattegrond van kascomplex B11.

De metingen van de grondtemperaturen zijn verricht over een periode van 12 tot 30 april. Tijdens deze periode is de temperatuur van de buitenlucht lager geweest dan normaal,  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

Naderhand zijn de meetgegevens van de procescomputer en de recorder verwerkt in de grafieken 4.1. en 4.2. op bijlagen 3 en 4. In grafiek 4.1. is het verloop in grondtemperatuur op verschillende diepten te zien, die buiten en in kasafd. 4 gemeten zijn.

We zien dat de grondtemperatuur in de bovenste grondlagen van de kas sterk afhankelijk is van de regeling van de kastemperatuur (dag/nacht regeling). Buiten de kas wordt de grondtemperatuur in de bovenste lagen sterk beïnvloed door weersomstandigheden. Op diepere lagen is de grondtemperatuur veel meer constant. Een uitzondering hierop is een nog niet te verklaren temperatuur schommeling, die gemeten is in kasafd. 4 op een diepte tussen 2,25-2,50 meter.

Opmerkelijk is het grootte verschil in grondtemperatuur, die buiten en binnen de kassen gemeten is op grotre diepten. Het verschil in grondtemperatuur is op een diepte van 1,75 meter nog steeds meer dan 8,5°C. De kaswarmte heeft dus (op lange duur) tot op grootte diepte invloed op de grondtemperatuur. De invloed van de kaswarmte is wel afhankelijk van de bodemstructuur.

#### 4.2. Warmteoverdracht door de bodem

Om een indruk te krijgen van de warmteoverdracht door de bodem hebben we in de kas de grondtemperatuur op twee locaties met verschillende omstandigheden gemeten, namelijk in:

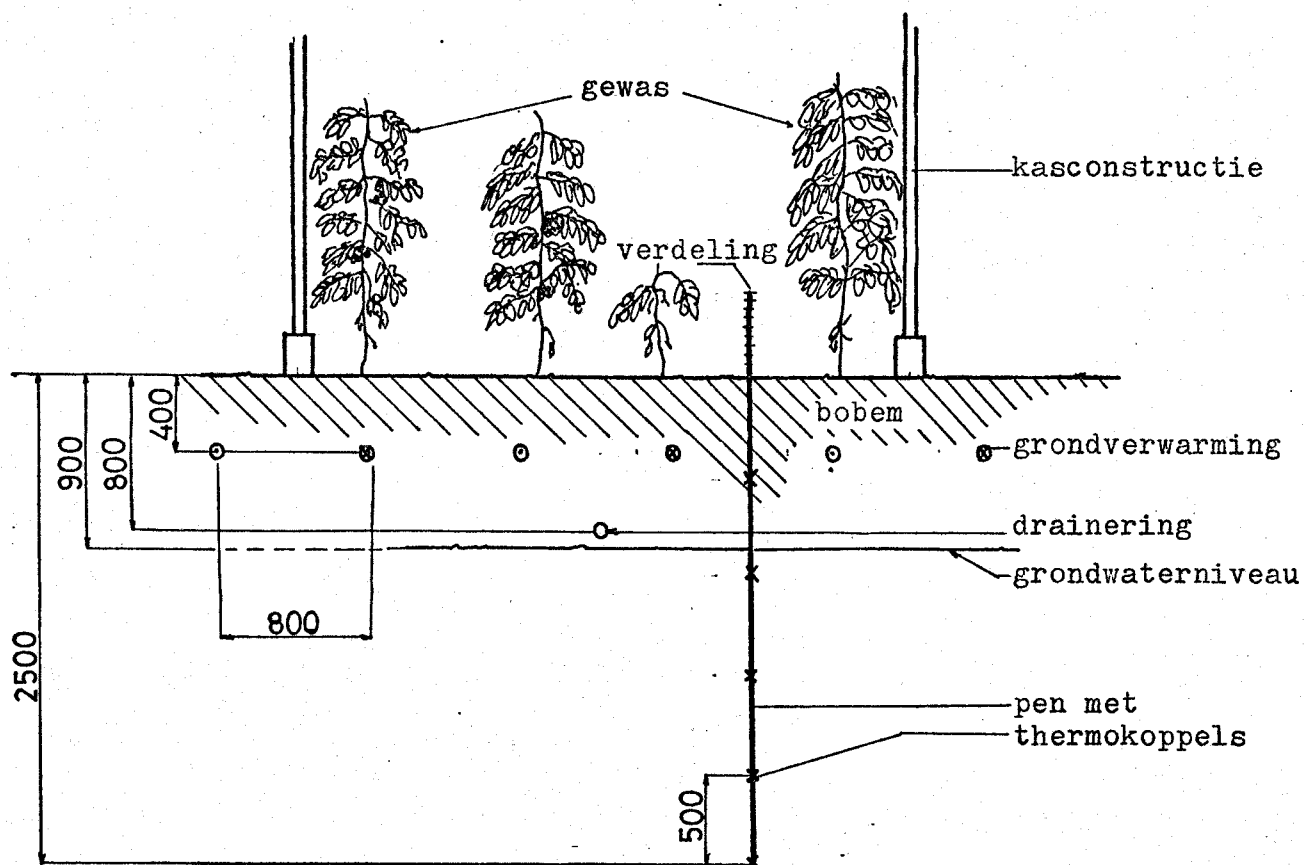
- een kas zonder grondverwarming; afd. 4 B11,
- een kas met grondverwarming; afd. 6 B11.

De meetplaatsen zijn aangegeven in fig. 4, op bijlage 8, een plattegrond van kascomplex B11.

Grondverwarming vindt plaats door een verwarmingsysteem dat in de grond van de kas is aangelegd. Het verwarmingsysteem bevindt zich dicht aan de oppervlakt op  $\pm$  40 cm diepte. Figuur 4.2., op blz. 15, geeft een beeld van de meting van de grondtemperatuur in een kas met grondverwarming. Door de grondverwarming stroomt warm water van max. 40°C. Bij een hogere watertemperatuur zou de grond uitdrogen, hetgeen niet bevordelijk is voor het gewas.

Op 12 april is begonnen met het meten van de grondtemperatuur. Op het zelfde tijdstip is de grondverwarming van kasafd. 6 in werking gezet. De watertemperatuur is hierbij afgeregeld tussen 36-40°C. De meetgegevens van beide kasafdelingen zijn naderhand verwerkt in grafiek 4.2., op bijlage 4.





Figuur 4.2. Meting van de grondtemperatuur in een kas met grondverwarming.

In grafiek 4.2. zien we dat de grondtemperatuur in afdeling 6 op geringe diepte direct oploopt na het in werking stellen van de grondverwarming. Op grotere diepten loopt de grondtemperatuur heel langzaam en gelijkmatig op. In tabel 4.2., op blz. 16, is de opwarmduur van de bodem van afdeling 6 samengevat.

diepte cm	grond- soort <sup>x)</sup>	grondtemperatuur in °C			stijg- periode dagen
		bij start grondverw. 12-4-1979	na stijging	laaste meting 25-5-1979	
25	losse teeltgrond	19,5	24,5	—	3,5
75	vaste teeltgrond	19,3	24,0	—	12
125	zand en klei	18,7	23,5	—	26
175	zand	18,4	—	22,3	duurt voort
225	vaste klei	18,4	—	22,3	duurt voort

Tabel 4.2. Opwarmduur van de bodem op verschillende diepten na het in werking zetten van de grondverwarming op 12 april 1979. Van de bovenste grondlagen is de periode gemeten waarin de grondtemperatuur is gestegen t.g.v. grondverwarming. Van de onderste grondlagen duurt de stijging nog steeds voort.

<sup>x)</sup> zie hoofdstuk 4.3.: onderzoek grondprofiel.

### 4.3. Injecteren van warm water

Ter afsluiting van dit onderzoek is een proefopstelling gemaakt waarmee op geringe diepte warm water in de bodem is geïnjecteerd. Met de warm water injectie is nagegaan hoe de spreiding van het warme water in de grond verloopt en hoe het warme water bewaard blijft. In figuur 4.3., op bijlage 5, is de proefopstelling geschets. Vanuit een voorraadbak wordt m.b.v. een waterpomp (tot 3 atm.) warm water van  $\pm 60^\circ\text{C}$  door een injectiebuis in de grond geïnjecteerd. Het water in de voorraadbak wordt bereid m.b.v. koud gietwater en warm water van  $95^\circ\text{C}$  vanuit het verwarmingsysteem. Met een mechanische roerder wordt het koude- en warme water gemengd. Tijdens het injecteren worden de volgende metingen verricht:

- geïnjecteerde waterhoeveelheid m.b.v. een debiet meter aan de perszijde van de pomp,
- watertemperatuur in de voorraadbak, op twee plaatsen, m.b.v. thermokoppels,
- injectietemp. onder aan de injectiebuis m.b.v. een thermokoppel,
- de grondtemperatuur rondom de injectiebuis, op 25 plaatsen, m.b.v. thermokoppels aan stalen pennen.

Voor het plaatsen van de injectiebuis in de bodem moest vooraf een gat in de grond geboord worden m.b.v. een grondboor. Tijdens het boren kon het grondprofiel onderzocht worden. Figuur 4.3.a, op bijlage 6, geeft een schets van de injectiebuis in de bodem met bijbehorend grondprofiel. Met de injectiebuis werd geïnjecteerd op een diepte van 1,5 tot 2 meter in een zandlaag net boven een vaste kleilaag.

Bij de eerste experimenten met het injecteren van warm water kwam het warme water direct omhoog naar de oppervlakte. De druk van de waterpomp (3 atm.) is te groot en de bodem biedt weinig weerstand aan het stijgende warme water. Vervolgens is de grond rondom de injectiebuis vast gestampt. Bij de volgende experimenten is de waterpomp niet meer gebruikt, maar is het warme water in de bodem geheveld. Het meeste water kwam niet meer aan de oppervlakte, maar spreidde zich uit op het grondwaterniveau, waar het snel afkoelde. In figuur 4.3., op bijlage 5, is de spreiding van het warme water te zien, bij het injecteren op 1,5 tot 2 meter diepte.

In tabel 4.3., op bijlage 7, zijn de meetgegevens verwerkt.

De grond in de betreffende oppervlakte lagen is niet geschikt voor de injectie proeven. Er moet gezocht worden naar een dieper gelegen zandlaag net onder een vaste kleilaag.

## 5. Nabeschouwing

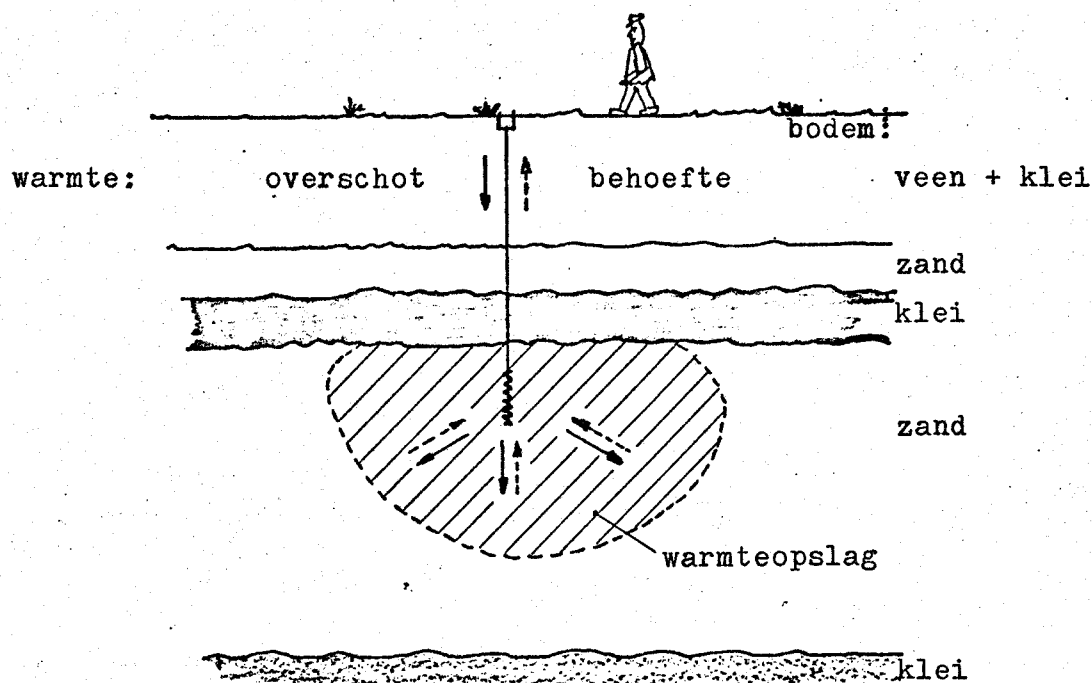
Warmteopslag in de kasbodem is theoretisch mogelijk. Voor praktische toepassingen moet nog verder uitgebreid onderzoek gedaan worden naar:

- geschikte bodemstructuur; diepten,
- rendement van de warmteopslag,
- opslagmethoden,
- consequenties van warm grondwater voor het milieu,
- economische aspecten.

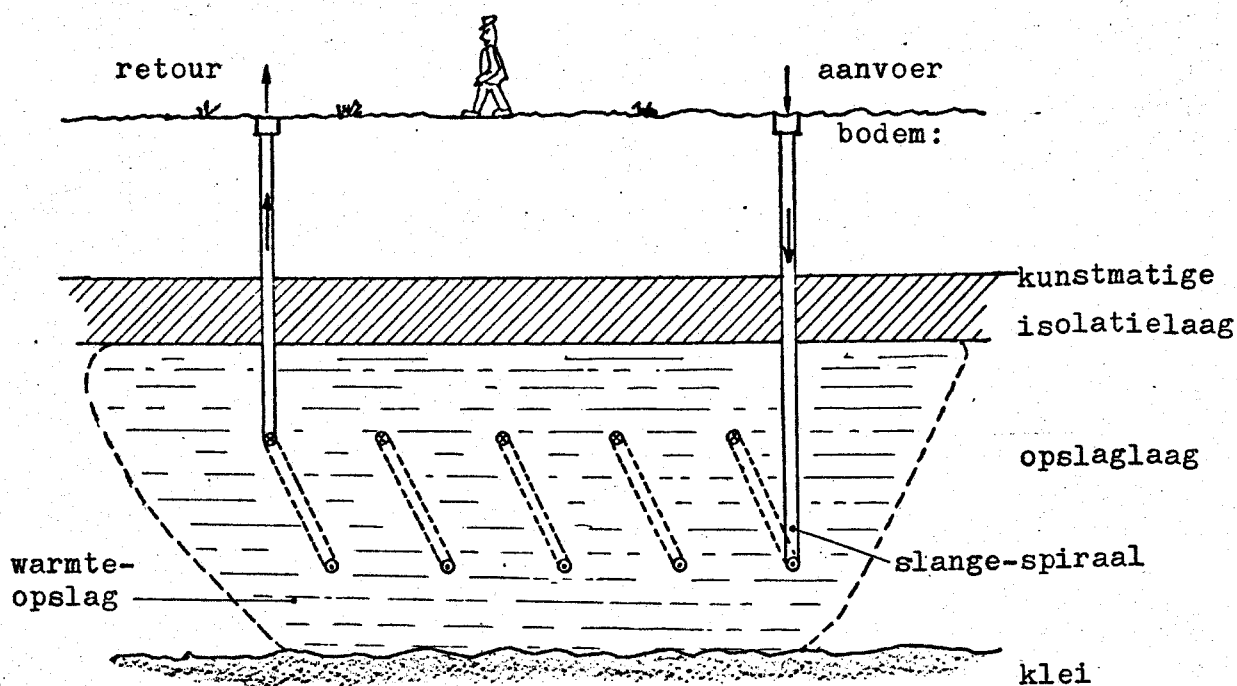
Op het Proefstation Naaldwijk is het onderzoek beperkt tot eenvoudige experimenten. Het is aan te bevelen om verder onderzoek te verrichten in samenwerking met andere instellingen, die ervaring hebben op dit gebied van onderzoek. De Technisch Fysische Dienst (TPD) afdeling Warmte Instrumentatie is in samenwerking met het Laboratorium voor Grondmechanica (Delft) bezig met een onderzoek van (zonne-)warmteopslag in de grond. Ook Philips is bezig met een project waarbij (zonne-)warmte in de grond wordt opgeslagen.

## 6. Literatuurlijst

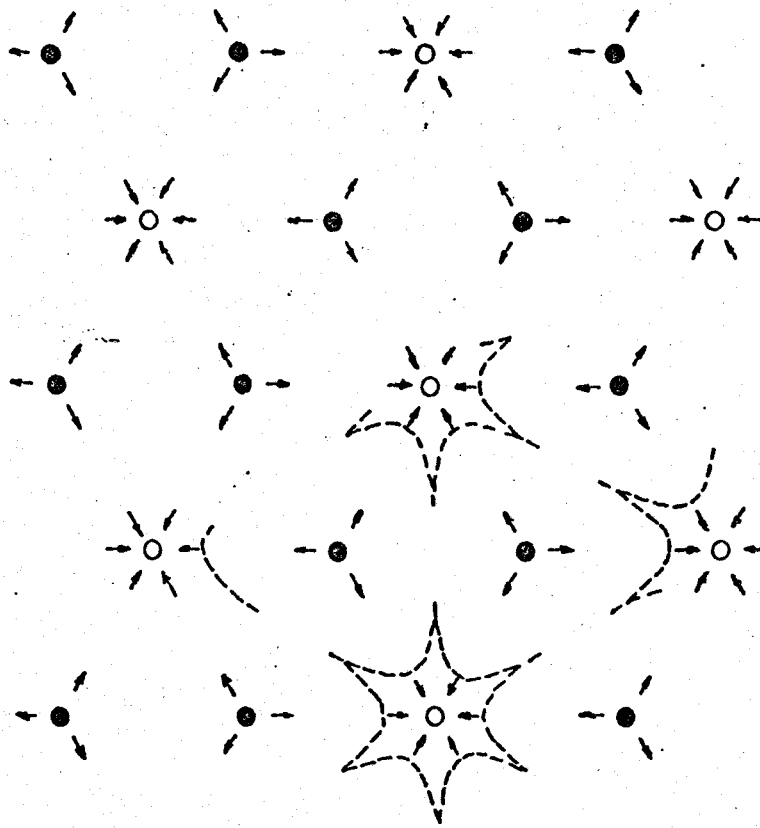
- (1) Ir. de Feijter, J.W. "Enige aspecten van (zonne-)warmteopslag in grond", Open sprekersdag van het Kivi, Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
- (2) Ing. Bruno, A.M. "Warmteopslag in de bodem", Beta nr. 1, 9 jan. 1979, jaargang 15, B.V. pers en publiciteit, Burg. Roëllstraat 70, 1084 BP Amsterdam.
- (3) Dr. Germing, G.H. "Amerikaans onderzoek over zonne-energie voor kasverwarming", Verwarming en Ventilatie nr. 11, nov. 1978, jaargang 35.



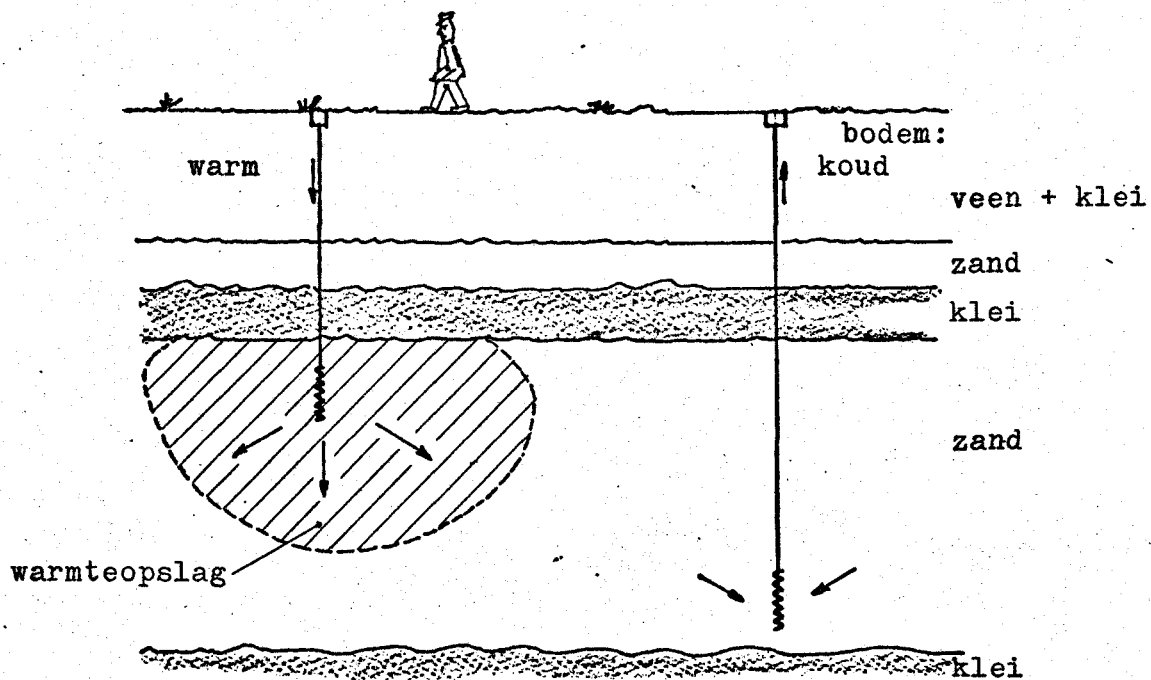
Figuur 3.5.1. Injecteren van warm water in de bodem door impulsinjectie.



Figuur 3.5.3. Warmteopslag in de bodem d.m.v. warmte uitwisseling.

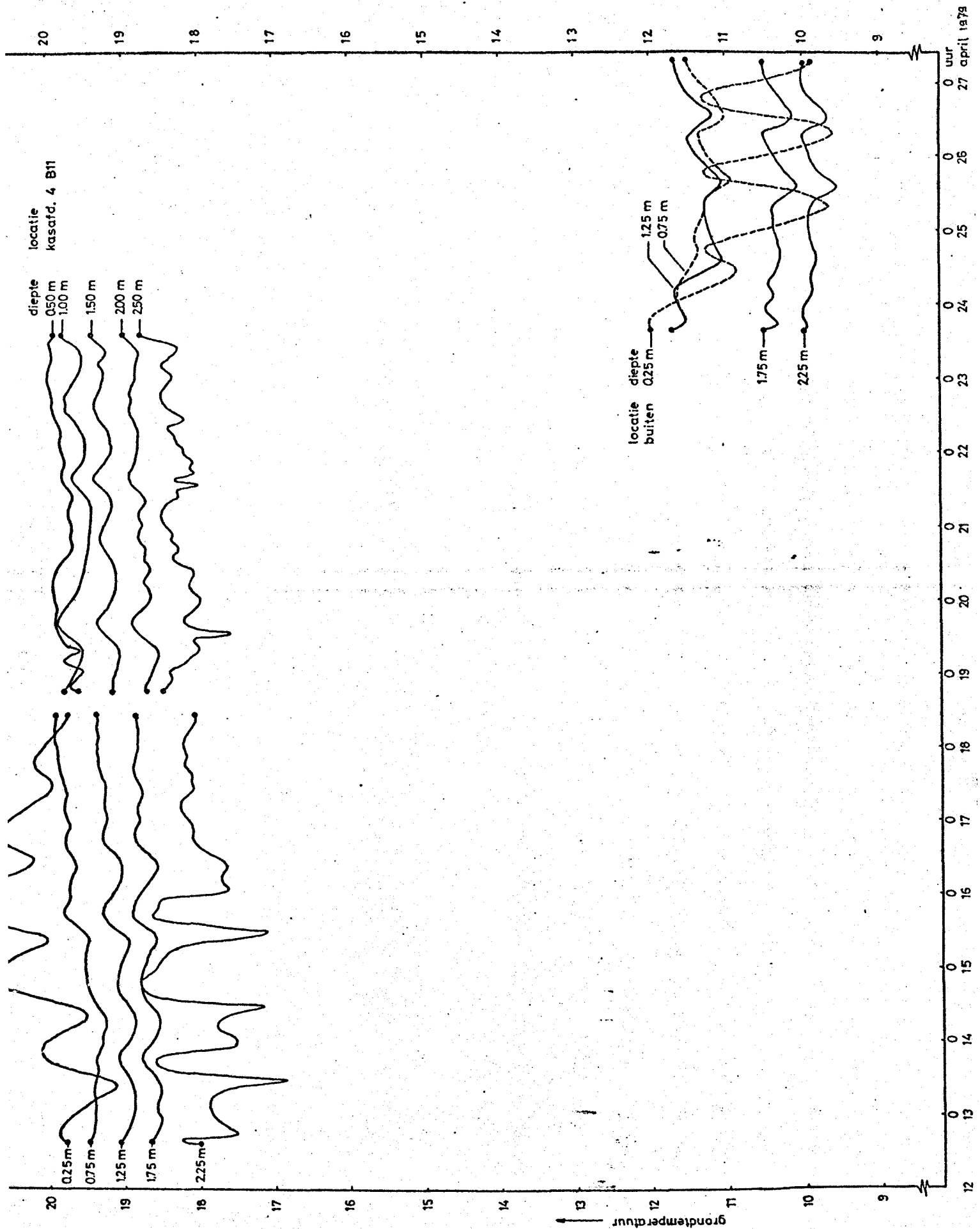


Figuur 3.5.2.a. Mogelijke verdeling van de putten over het terrein bij meerpunts-injectie; (warmwaterinjectie en koud wateronttrekking). Omtrek aangegeven van de warmwaterbellen bij een bijna volledige gevulde warmteopslag.



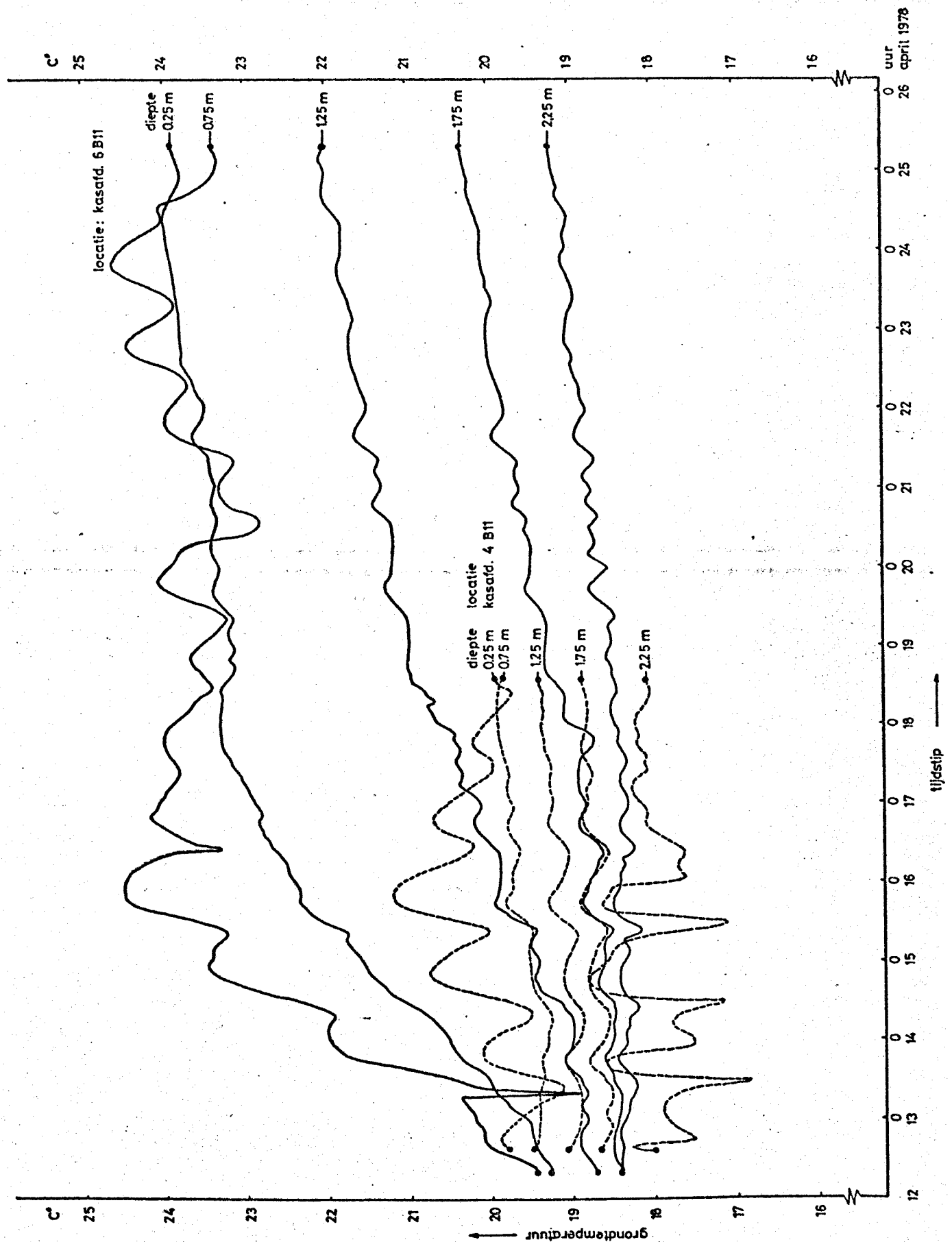
Figuur 3.5.2.b. Injecteren van warm water in de bodem door meerpunts-injectie.

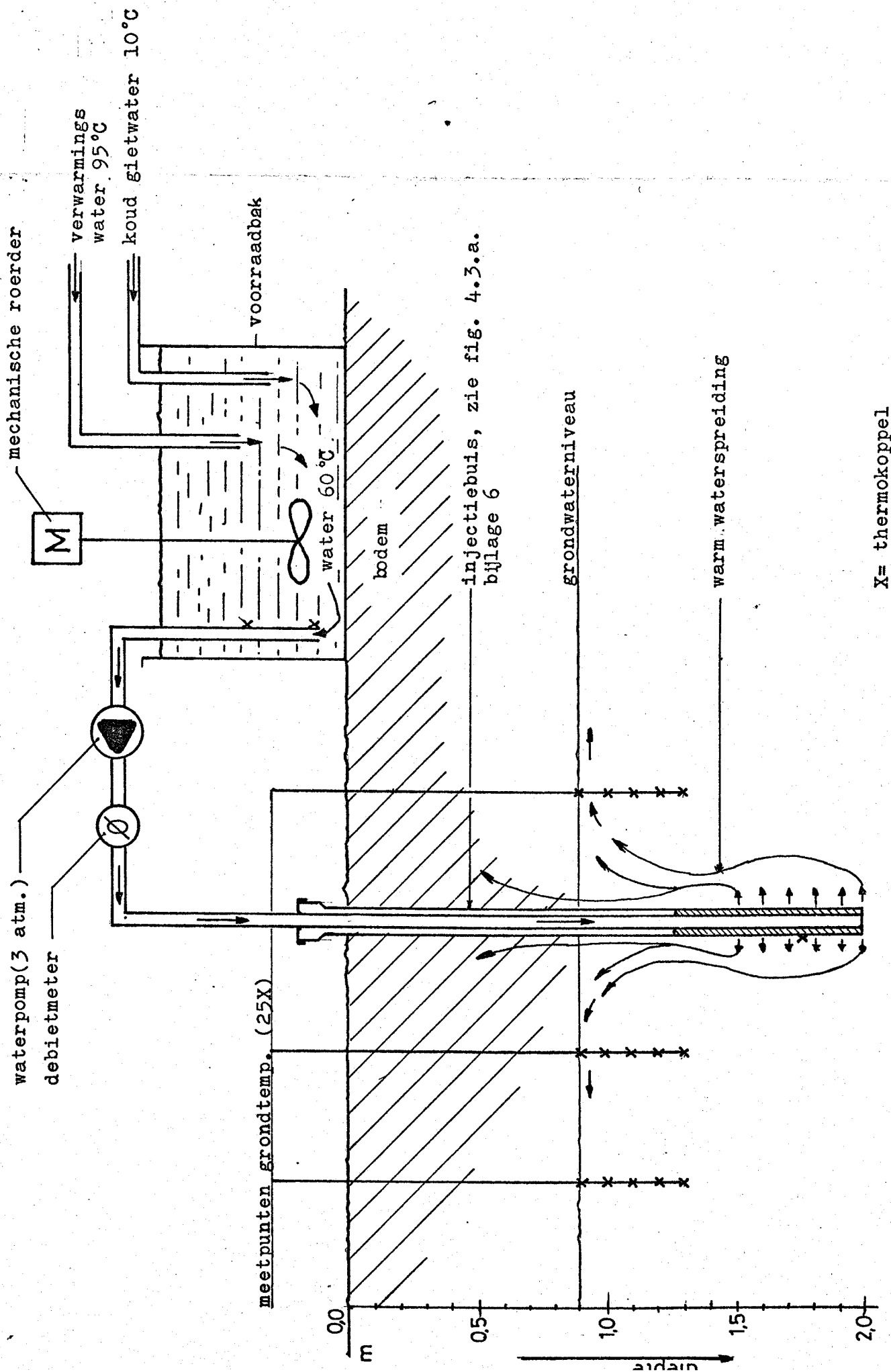
Grafiek 4.1. Verloop van de grondtemperatuur in de kas en buiten, op verschillende diepten.



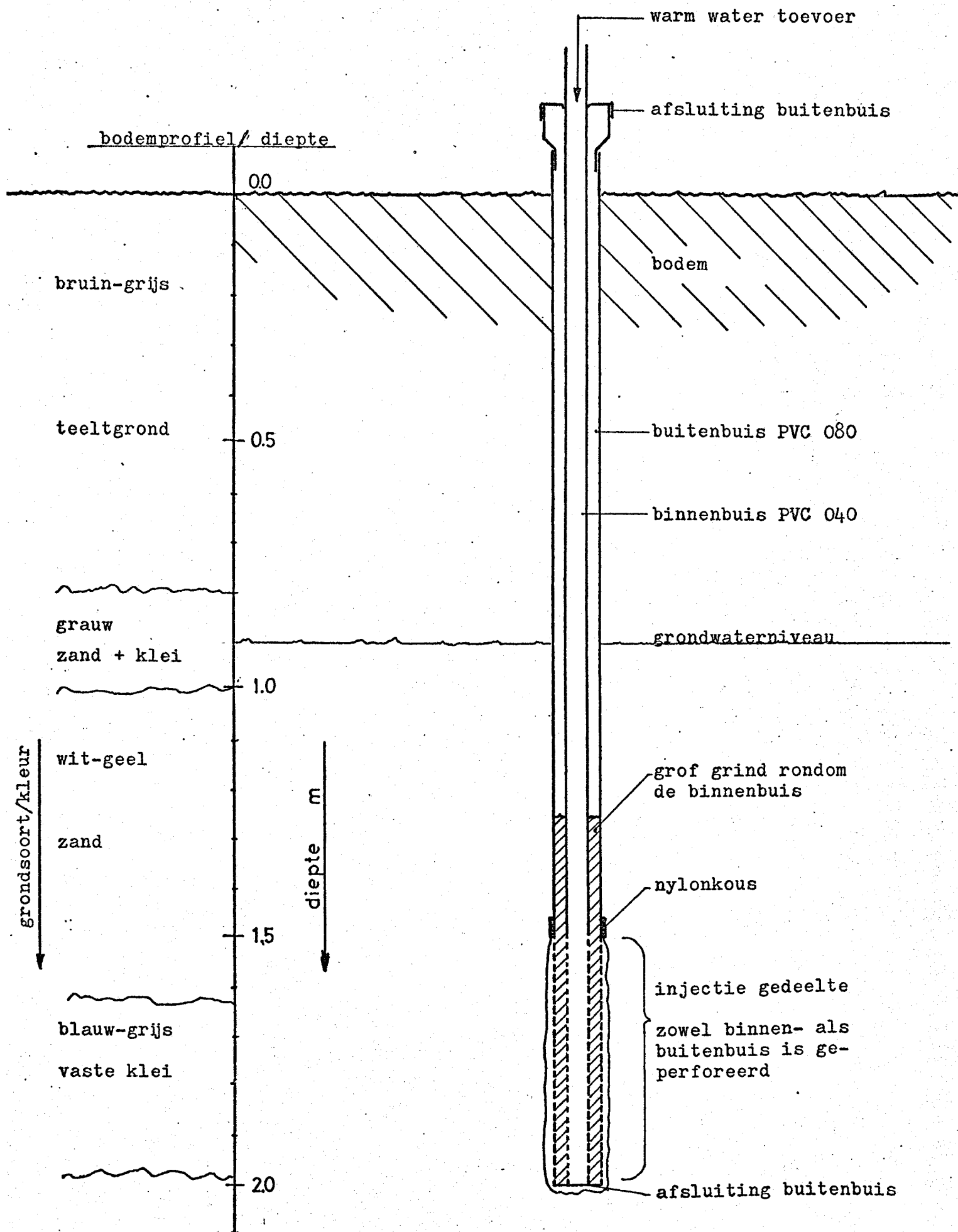


Grafiek 4.2. Verloop van de grondtemperatuur in de kasafdelingen 4 en 6, op verschillende diepten. In kasafdeling 6 is om 15.00 uur, 12 april 1979, de grondverwarming in werking gezet.





Figuur 4.3. Schets proefopstelling bij het injecteren van warm water in de bodem.



Figuur 4.3.a. Schets injectiebuis in de bodem met bijbehorend bodemprofiel.

Tabel 4.3. Meetgegevens van de injectieproef. Als proef is warm water in de bodem geïnjecteerd (d.m.v. hevelen) op een diepte tussen 1,4-1,9 meter. De proef is begonnen om 14.00 uur, 20 mei 1979.

tijdstip  uur	watertemp. voorraad- bak  C°	grondtemp. injectie- punt  C°	grondtemp. in C° op verschillende diepten (cm)									
			25 cm v.a. injectiepunt					50 cm v.a. injectiepunt				
			90	100	110	120	130	90	100	110	120	130
14	62,5	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	60,0	32,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	58,0	34,0	31,5	34,8	39,0	37,7	32,1	21,3	21,4	21,3	21,3	20,8
17	56,7	36,3	32,7	35,6	39,0	37,9	33,2	21,8	22,1	22,3	22,7	22,1
18	55,5	37,0	34,0	36,4	38,9	38,2	34,5	22,5	23,0	23,6	24,2	23,8
19	54,0	37,2	34,5	36,7	38,7	38,0	35,1	23,0	23,6	24,4	25,1	24,8
20	52,5	37,0	35,0	36,9	38,5	37,9	35,4	23,6	24,3	25,3	26,1	25,9
21	51,2	36,5	35,2	36,8	38,1	37,6	35,4	24,2	25,0	26,0	27,0	26,8
22	50,0	36,0	35,2	36,7	37,8	37,6	35,4	24,8	25,6	26,6	27,6	27,5
23	48,5	35,5	35,0	36,4	37,1	36,9	35,2	25,1	26,0	27,0	27,9	27,8
0	47,2	34,7	34,7	36,0	36,5	36,3	34,8	25,6	26,4	27,4	28,2	28,2
1	46,0	34,0	34,5	35,4	35,9	35,7	34,4	26,0	26,8	27,7	28,5	28,4
2	44,5	33,3	34,0	35,0	35,3	35,2	34,0	26,3	27,1	27,9	28,6	28,5
3	43,3	32,5	33,5	34,3	34,5	34,4	33,5	26,4	27,2	27,9	28,6	28,5
4	42,0	31,7	33,0	33,8	33,8	33,8	33,0	26,6	27,3	28,0	28,6	28,6
5	41,0	30,7	32,5	33,4	33,3	33,3	32,5	26,8	27,4	28,1	28,6	28,5
6	39,7	29,9	32,0	32,8	32,6	32,6	32,0	26,9	27,5	28,0	28,4	28,3
7	38,7	29,3	31,5	32,2	31,9	32,0	31,4	26,9	27,5	28,0	28,3	28,2
8	37,7	28,8	30,9	31,4	31,1	31,3	30,7	27,0	27,4	27,8	28,1	27,9
9	37,0	28,5	30,4	30,9	30,6	30,7	30,3	27,0	27,3	27,7	27,9	27,7
10	36,2	28,3	30,0	30,4	30,1	30,2	29,8	26,9	27,3	27,5	27,6	27,4
11	35,7	28,2	29,6	30,0	29,6	29,7	29,2	26,9	27,2	27,4	27,5	27,3
12	35,3	28,1	29,3	29,4	29,2	29,2	28,8	26,8	27,0	27,2	27,2	27,0
13	35,0	28,0	29,0	29,2	29,0	28,9	28,5	26,6	26,9	26,9	27,0	26,7
14	34,9	28,0	28,9	29,1	28,7	28,7	28,2	26,5	26,7	26,7	26,7	26,5
15	34,7	27,9	28,8	28,9	28,6	28,5	27,9	26,3	26,5	26,5	26,5	26,2
16	34,6	27,9	28,8	28,8	28,6	28,4	27,8	26,2	26,3	26,3	26,2	26,0
17	34,5	27,9	28,8	28,7	28,6	28,3	27,6	26,1	26,2	26,2	26,0	25,9
18	34,3	27,7	28,8	28,7	28,6	28,4	27,6	25,9	26,1	26,0	25,8	25,7
19	34,2	27,5	28,8	28,9	28,7	28,4	27,6	25,9	26,0	26,0	25,8	25,5
20	33,8	27,2	28,7	29,0	28,8	28,5	27,7	25,9	26,0	25,9	25,8	25,5
21	33,2	27,0	28,6	29,0	28,8	28,5	27,7	25,9	26,0	25,9	25,7	25,4
22	32,4	26,8	28,5	28,9	28,7	28,4	27,6	25,7	25,8	25,8	25,6	25,3

\*<sup>1</sup>) Grondtemperaturen gemeten op een diepte tussen 1,9-1,5 meter. Op deze diepte werd echter geen stijging waargenomen. Naderhand hebben we de grondtemperatuur gemeten op een diepte tussen 1,3-0,9 meter.

\*<sup>2</sup>) Einde injectie. Het hevelen van warm water in de bodem is vanzelf opgehouden. De geïnjecteerde waterhoeveelheid is : 780 liter.

- Klimaatkas B 10 -

- onverwarmde kas -

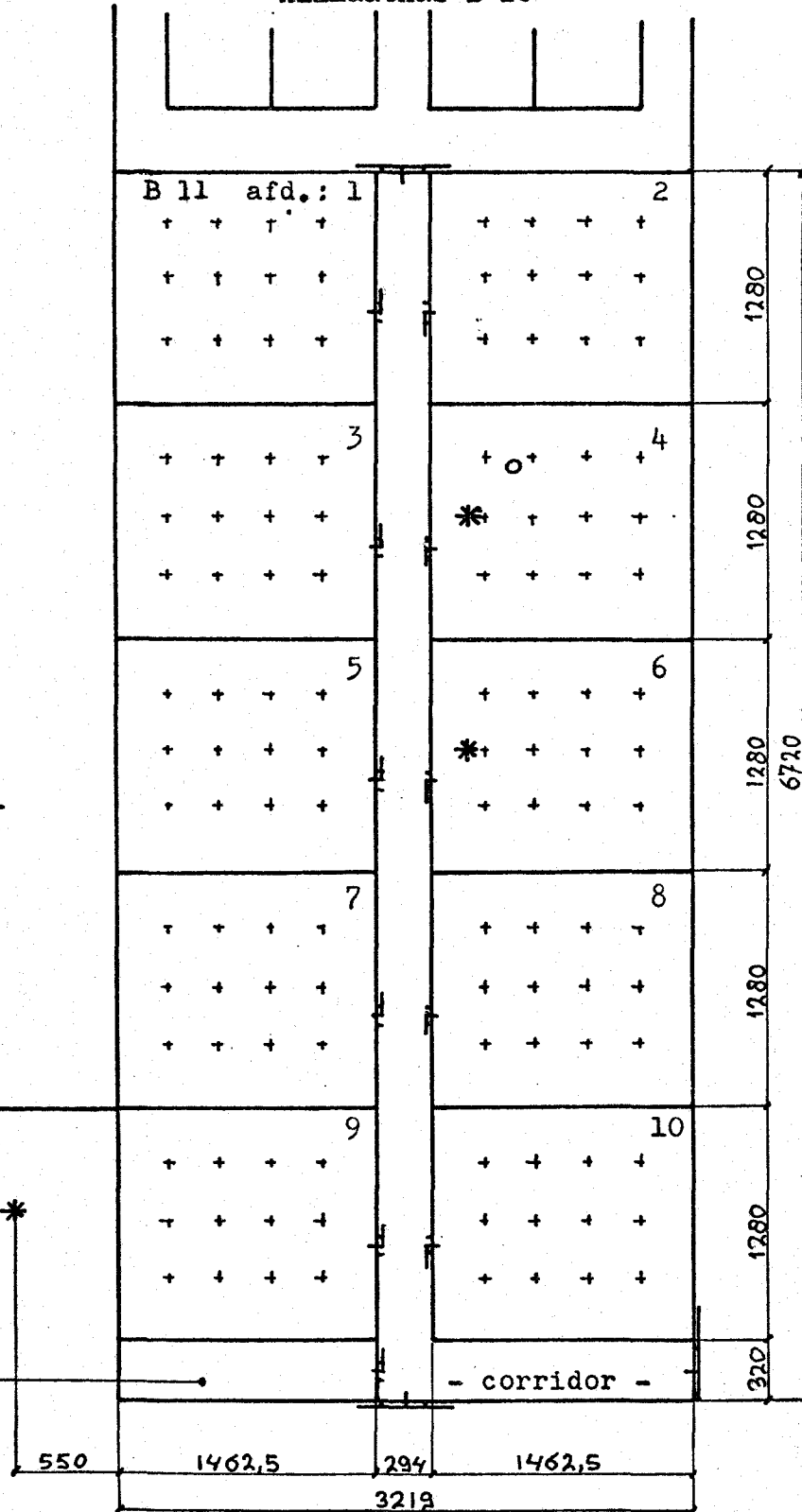
- open terrein -

meet- en regel-  
apparatuur

\* = locatie meetplaats van de grondtemperatuur

O = locatie van de injectieproef

Maateenheid: cm



Benaming

PLATTEGROND VAN KASCOMPLEX B 11

Formaat

Figuur 4.

Proefstation Naaldwijk

Schaal 1 : 400

Gecontroleerd

A4

Controle 1 6 70

Controle 14 2

Bevestigingsmerk